

# 不同规格 CTC 红碎茶理化与香气成分比较

肖巧梅, 张晓宇, 王娟, 罗涵潇, 李雪丹, 魏子涛, 吕才有\*

(云南农业大学茶学院, 云南昆明 650201)

**摘要:** 从感官审评、理化成分、香气成分等方面对 4 个规格的 CTC 红碎茶进行分析。结果表明, 所有红碎茶干茶色泽以棕褐、茶汤以红亮为主, 滋味以浓、强、鲜为突出特点, 香气类型为甜香, 碎茶 3 号感官品质评分最高。各类理化成分含量在不同规格红碎茶中有显著差异, 水浸出物、茶碱和儿茶素总量随颗粒减小而降低; 碎茶 3 号茶多酚 (25.68 mg/g)、咖啡碱 (43.67 mg/g) 和儿茶素总量 (96.93 mg/g) 含量最高, 碎茶 5 号黄酮总量 (20.30 mg/g) 最高。GC-MS 从 4 个规格红碎茶中检测到醇类 (44.11%~51.84%)、酯类 (15.31%~18.96%)、醛类 (5.99%~11.56%) 等 9 类共 100 种香气物质, 共有香气成分 21 种; 碎茶 3 号香气成分与其他规格差异最大, 香气物质种类最为丰富; 碎茶 2 号和末茶香气成分最接近, 碎茶 5 号香气物质种类最少。通过分析, 不同规格 CTC 红碎茶在感官审评、化学成分和香气成分方面各有差别, 初步探明不同规格 CTC 红碎茶的品质差异。

**关键词:** CTC 红碎茶; 感官品质; 理化成分; 香气成分

文章编号: 1673-9078(2023)03-262-271

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.3.0403

## Comparison of Physicochemical and Aroma Components of CTC Broken Black Teas with Different Specifications

XIAO Qiaomei, ZHANG Xiaoyu, WANG Juan, LUO Hanxiao, LI Xuedan, WEI Zitao, LYU Caiyou\*

(College of Tea, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** CTC broken black teas with four specifications were analyzed in terms of sensory score, physicochemical components and aroma components. The results showed that all the dried broken black teas had a brown color, and their tea infusions were mainly bright red, with a mellow, strong and fresh taste and a sweet aroma. The No. 3 broken black tea had the highest sensory quality score. The contents of the various physicochemical components in the broken black teas with different specifications varied significantly. The total amounts of water extract, theophylline and catechin decreased with the decrease of particles. The No. 3 broken black tea had the highest contents of tea polyphenols (25.68 mg/g), caffeine (43.67 mg/g) and total catechins (96.93 mg/g), whilst the No. 5 broken black tea had the highest content of total flavonoids of (20.30 mg/g). GC-MS analyses of the broken black teas with four specifications revealed nine categories and 100 kinds of aroma substances such as alcohols (44.11%~51.84%), esters (15.31%~18.96%) and aldehydes (5.99%~11.56%). There were 21 kinds of aroma components. The aroma of the No. 3 broken black tea differed the most from those of other teas with different specifications, and had the most abundant types of aroma substances. The aroma of the No. 2 broken tea resembled the most to that of the powdered tea, with the No. 5 broken tea having the least types of aroma substances. The analyses revealed that CTC broken black teas with different specifications showed differences in sensory score, chemical composition and aroma components, which preliminarily clarifies the quality differences among the CTC broken black teas with different specifications.

**Key words:** CTC broken black tea; sensory quality; physical and chemical composition; flavor components

引文格式:

肖巧梅, 张晓宇, 王娟, 等. 不同规格 CTC 红碎茶理化与香气成分比较[J]. 现代食品科技, 2023, 39(3): 262-271.

XIAO Qiaomei, ZHANG Xiaoyu, WANG Juan, et al. Comparison of physicochemical and aroma components of CTC broken black teas with different specifications [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(3): 262-271.

收稿日期: 2022-04-07

基金项目: 国家现代农业茶叶产业体系专项资金项目 (CARS-19)

作者简介: 肖巧梅 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶加工与质量控制, E-mail: 2540904882@qq.com

通讯作者: 吕才有 (1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 茶叶加工、茶叶综合利用及茶文化, E-mail: 2495846526@qq.com

红茶是全球第一大茶类,经鲜叶萎凋、揉捻、发酵和干燥等基本加工工艺形成。CTC 红碎茶(Crush-Tear and Curl Broken Black Tea, CTC 红碎茶)是指萎凋叶在揉捻阶段,由生产线上的滚筒将茶叶进行压碎(Crush)、撕裂(Tear)和卷曲(Curl)形成颗粒、碎末状,再经发酵、干燥工艺形成的一种红碎茶<sup>[1]</sup>。CTC 红碎茶因其独特的风味而被广泛饮用,是全球生产贸易量最高的红茶品类,主要产自中国、印度、肯尼亚、越南和斯里兰卡等国家<sup>[2]</sup>。我国红碎茶根据鲜叶茶树品种分为大叶种红碎茶和中小叶种红碎茶两种,其中大叶种红碎茶包括碎茶1号、碎茶2号、碎茶3号、碎茶5号、片茶和末茶共7种规格,小叶种红碎茶包括碎茶1号、碎茶2号、碎茶3号、片茶和末茶5种规格<sup>[3]</sup>。红碎茶一直以来深受世界各国学者关注,我国是红茶工艺的发源地,红茶品类非常丰富,相比红碎茶,国内学者更关注功夫红茶的研究。但随着红碎茶在国际市场中的地位越来越高,国内学者也开始围绕红碎茶开展研究。潘彬<sup>[4]</sup>通过对比中国、印度、斯里兰卡、肯尼亚4个世界主要产茶国红碎茶感官审评方法、术语,发现各国红碎茶审评主要在茶水比和冲泡时长存在差异。杨胜美等<sup>[5]</sup>比较了产自斯里兰卡和云南的红碎茶香气差异,发现云南红碎茶烯类香气成分明显高于斯里兰卡红碎茶,而吡啶类香气成分则低于斯里兰卡红碎茶。王伟伟等<sup>[6]</sup>通过研究不同萎凋时间对云南 CTC 红碎茶品质的影响,总结出以萎凋4 h、含水量69.4%的萎凋叶制成的 CTC 红碎茶感官品质最好。谢清怡<sup>[7]</sup>研究了储藏温度、湿度、光照等外部条件对红碎茶香气的影响,研究表明庚醛、1-戊烯-3-醇、反-2-己烯-1-醇和顺-3-己烯-1-醇等物质随储藏时间延长表现出增加的趋势,低温、低湿和避光条件更利于红碎茶储存。目前,学者们关于 CTC 红碎茶的研究主要在生产工艺<sup>[8-11]</sup>、不同产地<sup>[12-14]</sup>、不同品种<sup>[15,16]</sup>等因素导致的品质化学成分差异,而针对 CTC 红碎茶不同规格之间品质差异的研究则相对较少。所以,本研究选取云南昌宁的不同规格 CTC 红碎茶为研究对象,通过感官审评、生化成分测定及香气成分定性定量检测等方法,比较不同规格 CTC 红碎茶品质及化学成分差异,以期为消费者提供选择指导依据,为进一步完善云南 CTC 红碎茶品质体系数据库和提升红碎茶市场竞争力提供一定理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

云南大叶种一芽二、三叶鲜叶,经云南昌宁红

业集团有限公司 CTC 红碎茶加工工艺流程制得。

工艺流程如下:

鲜叶→储青摊凉→鲜叶萎凋→均衡叶选机→洛托凡转子机→CTC 三联机(齿侧间隙0.10~0.15 mm)→连续发酵机(发酵叶厚度约10 cm,发酵时间约40 min)→流化床干燥机→筛面茶→过筛→8~10目(碎茶3号),10~18目(碎茶2号),18~40目(碎茶5号),40~60目(末茶)

### 1.2 主要试剂和仪器

试剂:磷酸、酒石酸钾钠、硫酸亚铁、磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、茛三酮等,分析纯,天津风船科技;甲醇、乙腈,色谱纯,美国 TEDIA 试剂公司;纯度大于98%的标准品没食子酸(Gallic Acid, GA)、没食子儿茶素(Gallate Catechin, GC)、茶碱(Theophylline, Th)、表没食子儿茶素(Epigallocatechin, EGC)、儿茶素(Catechin, C)、咖啡碱(Caffeine, CA)、表没食子儿茶素没食子酸酯(Epigallocatechin Gallate, EGCG)、表儿茶素(Epicatechin, EC)、没食子儿茶素没食子酸酯(Gallocatechin Gallate, GCG)、表儿茶素没食子酸酯(Epicatechin-3-Gallate, ECG)、花旗松素(Tf)、儿茶素没食子酸酯(Catechin Gallate, CG)、芦丁(Rt)、鞣花酸(Ellagic Acid, Eg)、杨梅素(Myricetin, My)、槲皮素(Quercitrin, Qc)、木犀草素(Luteolin, Lt)、山奈酚(Kaempferol, Kae),成都曼斯特有限公司。

仪器:电子分析天平,北京赛多利斯天平有限公司;Micro CL21R,微量台式离心机,德国 Thermo Scientific 公司;HH-S28S 数显恒温水浴锅,金坛市大地自动化仪器厂;756CRT 紫外可见分光光度计,上海菁华科技仪器有限公司;1200 型高速液相色谱系统,美国安捷伦公司;HP 7890A-5975C GC-MS,德国 Aircence 公司。

### 1.3 方 法

#### 1.3.1 感官审评方法

由3名高级评茶员(男女比例为2:1)组成的评审小组,参照国家标准《茶叶感官审评方法》(GB/T 23776-2018)<sup>[17]</sup>、《茶叶感官审评术语》(GB/T 14487-2017)<sup>[18]</sup>和《红茶第一部分:红碎茶》(GBT 13738.1-2017)<sup>[3]</sup>进行感官审评,使用云南山泉饮用水冲泡,采用评语与百分制相结合的方法对茶样的外形、汤色、香气、滋味和叶底进行感官品质评价,最终评语由评茶员对比讨论得出,评分为平均分。

#### 1.3.2 生化成分测定方法

含水量测定参照 GB 5009.3-2016<sup>[19]</sup>;茶多酚(Tea

Polyphenols, TP) 测定参照 GB/T 8313-2002<sup>[20]</sup>; 游离氨基酸总量 (Amino Acids, AA) 测定参照 GB/T 8314-2013<sup>[21]</sup>; 水浸出物测定参照 GB/T 8305-2013<sup>[22]</sup>; 儿茶素类、黄酮类化合物、生物碱类、鞣花酸和没食子酸等应用实验室建立的高效液相色谱方法测定<sup>[23]</sup>, 茶黄素 (TF)、茶红素 (TR)、茶褐素 (TB) 采用系统分析法<sup>[24]</sup>。

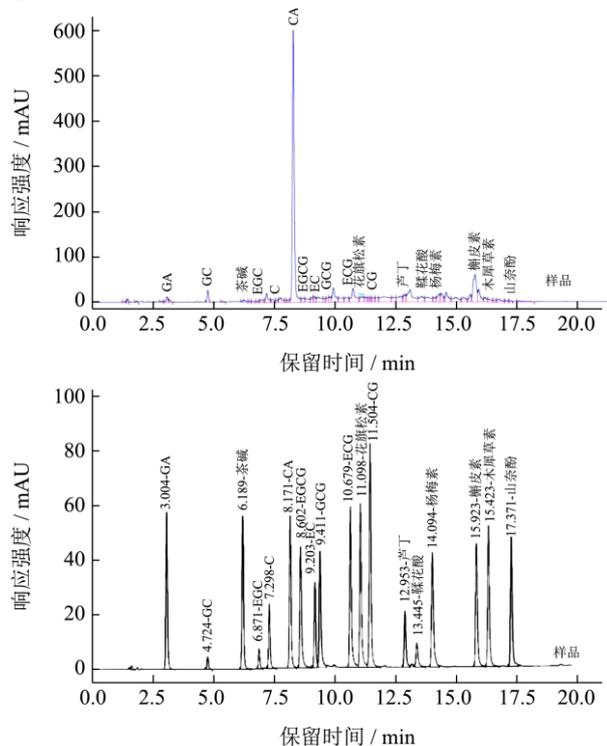


图1 主要生化成分 HPLC 图

Fig.1 The HPLC picture of main biochemical composition

### 1.3.3 挥发性成分检测

#### 1.3.3.1 检测条件

色谱条件: 色谱柱 (HP-5MS 30 m×0.25 mm×0.25 μm); 进样口温度 230 °C, 升温程序 (50 °C 保持

5 min, 以 6 °C/min 升至 250 °C, 保持 15 min)。载气: 氦气。质谱条件: 离子源 (EI), 气质接口温度 280 °C, 离子源温度 230 °C, 四级杆温度 150 °C。

#### 1.3.3.2 检测程序

取 1.00 g 茶样放入 20 mL 顶空瓶中, 加入 1.00 μg 葵酸乙酯作为内标, 加入 6 mL 沸水, 密封瓶口。CTC 自动进样器: 60 °C 稳定 10 min, 65 μm 聚二甲基硅氧烷/二乙烯苯 (Polydimethylsiloxane/Divinylbenzene, PDMS/DVB) 萃取头, 60 °C 萃取 50 min, 转速 250 r/min。气相色谱 - 质谱 (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) 联用仪检测, 进样口温度 230 °C, 脱吸附时间为 5 min。

### 1.4 数据分析

生化成分检测重复 3 次, 以平均值 ± 标准差 (Mean ± SD) 表示均值。香气成分根据 GC-MS 分析得到的各色谱峰, 通过计算机谱库检索 (2011 版 NIST 库), 同时结合相对保留时间, 查阅有关文献数据进行定性, 并根据挥发性成分的相对峰面积值进行定量, 筛选化合物匹配度 ≥ 80% 的数据进行分析。数据分析和作图应用软件 WPS Office、IBM SPSS statistics 22、Tbtools、Origin 2018 等完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同规格 CTC 红茶感官品质审评结果分析

云南大叶种茶树种质资源具有芽叶肥壮、持嫩性较高和内含成分丰富等诸多优点, 为加工优质红碎茶奠定了良好基础, 以云南大叶种为原料生产的红碎茶具有汤色红明亮, 香气浓郁, 滋味浓强鲜爽的特点<sup>[25]</sup>。不同规格 CTC 红碎茶感官品质如表 1 所示。

表 1 不同规格 CTC 红茶感官审评结果

Table 1 Organoleptic quality of different specifications CTC black tea

审评项目	碎茶 3 号 (评分)	碎茶 2 号 (评分)	碎茶 5 号 (评分)	末茶 (评分)
外形 (20%)	颗粒紧结, 重实, 色泽乌褐油润 (94.5)	颗粒紧实, 较重实, 色泽棕褐油润 (94.37)	颗粒紧实, 较重实, 色泽棕褐较油润 (93.5)	细砂粒状, 尚重实, 色泽棕褐油润 (93.67)
汤色 (10%)	橙红明亮 (91.33)	红浓明亮 (94.33)	红艳较明亮 (96.33)	红浓明亮 (94.33)
香气 (30%)	甜香浓郁, 较纯略高火, 持久 (94.5)	甜香带花香, 略带青气, 持久 (94.67)	甜香略带花香, 浓郁, 带青气, 持久 (93.17)	甜香带花香浓郁, 有青气, 持久 (91)
滋味 (30%)	浓厚鲜爽 (97.5)	浓强, 收敛性强 (96.83)	甜醇鲜爽 (97.33)	浓强, 收敛性较强 (96.33)
叶底 (10%)	红匀亮 (95)	红匀亮 (95)	红匀亮 (95)	红匀亮 (95)
总评分	95.13	95.26	94.98	93.86

各规格 CTC 红碎茶外形均为颗粒状, 颗粒由大到小依次为: 碎茶 3 号 > 碎茶 2 号 > 碎茶 5 号 > 末茶, 色泽以棕褐为主。内质感官评语各规格红碎茶香气以

甜香为主, 碎茶 2 号与末茶滋味收敛性较强, 碎茶 3 号与碎茶 5 号滋味偏甜醇、鲜爽。碎茶 5 号汤色红艳明较亮, 评分 96.33, 相较其他表现最为突出。相同冲

泡时间下,茶叶颗粒大小成为影响茶汤浓度的最主要因素,粗颗粒的内含物溶出速率低于细颗粒<sup>[26]</sup>,这可能是造成颗粒最大的碎茶3号茶汤颜色较浅、滋味稍弱于碎茶2号和末茶的原因之一。总评分由高至低依次为:碎茶2号>碎茶3号>碎茶5号>末茶。四个规格CTC

红碎茶滋味品质以浓、强、鲜为突出特点,香气以甜香为主,符合大叶种红碎茶的感官品质特征<sup>[27]</sup>。

## 2.2 不同规格CTC红碎茶化学成分分析

### 2.2.1 常规生化成分分析

表2 不同规格CTC红碎茶生化成分含量

Table 2 Contents of biochemical components in different specifications of CTC broken black tea

化学成分	碎茶3号	碎茶2号	碎茶5号	末茶
水浸出物/%	42.58±0.887 <sup>a</sup>	41.63±1.43 <sup>ab</sup>	40.45±0.48 <sup>bc</sup>	38.94±0.76 <sup>c</sup>
茶多酚 TP/%	25.68±0.114 <sup>a</sup>	20.78±0.092 <sup>b</sup>	15.45±0.07 <sup>d</sup>	19.49±0.37 <sup>c</sup>
游离氨基酸 AA/%	5.20±0.067 <sup>b</sup>	5.76±0.035 <sup>a</sup>	4.75±0.03 <sup>c</sup>	4.69±0.06 <sup>c</sup>
常规化学成分				
没食子酸 GA/(mg/g)	3.17±0.09 <sup>a</sup>	1.79±0.22 <sup>b</sup>	0.45±0.07 <sup>d</sup>	1.17±0.36 <sup>c</sup>
茶碱 Th/(mg/g)	0.91±0.11 <sup>a</sup>	0.68±0.13 <sup>b</sup>	0.49±0.01 <sup>c</sup>	0.32±0.04 <sup>c</sup>
咖啡碱 CA/(mg/g)	43.67±0.27 <sup>a</sup>	22.99±3.30 <sup>b</sup>	13.65±0.06 <sup>c</sup>	16.74±2.17 <sup>c</sup>
鞣花酸 Eg/(mg/g)	6.07±0.06 <sup>a</sup>	4.39±0.99 <sup>b</sup>	3.62±0.53 <sup>b</sup>	3.73±0.07 <sup>b</sup>
茶色素				
茶黄素 TF/%	1.15±0.00 <sup>c</sup>	1.42±0.00 <sup>b</sup>	0.92±0.01 <sup>d</sup>	1.45±0.00 <sup>a</sup>
茶红素 TR/%	12.68±0.05 <sup>d</sup>	18.24±0.11 <sup>a</sup>	14.850.09 <sup>b</sup>	14.35±0.13 <sup>c</sup>
茶褐素 TB/%	4.30±0.00 <sup>d</sup>	6.57±0.15 <sup>c</sup>	13.8±0.09 <sup>a</sup>	7.080.04 <sup>b</sup>
黄酮类化合物/(mg/g)				
花旗松素 Tf	1.4±0.27 <sup>a</sup>	1.12±0.06 <sup>a</sup>	1.58±0.15 <sup>a</sup>	0.55±0.02 <sup>b</sup>
芦丁 Rt	3.95±0.82 <sup>c</sup>	7.59±0.32 <sup>b</sup>	15.93±1.52 <sup>a</sup>	1.75±0.14 <sup>d</sup>
杨梅素 My	1.77±0.30 <sup>a</sup>	0.43±0.10 <sup>c</sup>	0.5±0.07 <sup>bc</sup>	0.79±0.04 <sup>b</sup>
木犀草素 Lt	0.67±0.11 <sup>b</sup>	0.32±0.09 <sup>c</sup>	1.21±0.07 <sup>a</sup>	0.35±0.01 <sup>c</sup>
槲皮素 Que	4.29±0.92 <sup>a</sup>	1.22±0.36 <sup>b</sup>	0.47±0.15 <sup>b</sup>	1.18±0.12 <sup>b</sup>
山奈酚 Kae	0.74±0.17 <sup>a</sup>	0.26±0.03 <sup>b</sup>	0.61±0.10 <sup>a</sup>	0.32±0.01 <sup>b</sup>
黄酮总量	12.81±2.42 <sup>b</sup>	10.93±1.11 <sup>b</sup>	20.30±1.39 <sup>a</sup>	4.93±0.09 <sup>c</sup>
儿茶素组分/(mg/g)				
GC	22.93±0.66 <sup>a</sup>	9.13±1.32 <sup>b</sup>	3.36±0.11 <sup>d</sup>	6.53±1.99 <sup>c</sup>
EGC	13.60±0.03 <sup>a</sup>	4.74±1.06 <sup>b</sup>	5.25±0.69 <sup>b</sup>	2.43±0.24 <sup>c</sup>
C	7.51±0.17 <sup>a</sup>	6.97±1.07 <sup>a</sup>	2.82±0.03 <sup>b</sup>	2.83±0.29 <sup>b</sup>
EC	11.77±1.93 <sup>a</sup>	5.01±0.91 <sup>b</sup>	2.21±0.27 <sup>c</sup>	3.96±0.31 <sup>bc</sup>
非酯型儿茶素总量	55.81±1.28 <sup>a</sup>	25.85±4.28 <sup>b</sup>	13.64±1.04 <sup>c</sup>	15.74±2.19 <sup>c</sup>
EGCG	13.00±2.49 <sup>a</sup>	2.70±0.54 <sup>b</sup>	1.34±0.13 <sup>b</sup>	1.2±0.22 <sup>b</sup>
GCG	0.71±0.19 <sup>c</sup>	0.69±0.14 <sup>c</sup>	4.83±0.53 <sup>a</sup>	1.62±0.12 <sup>b</sup>
ECG	26.86±0.56 <sup>a</sup>	10.27±1.73 <sup>b</sup>	4.59±0.46 <sup>c</sup>	6.08±0.51 <sup>c</sup>
CG	0.55±0.11 <sup>b</sup>	0.36±0.14 <sup>bc</sup>	2.96±0.24 <sup>a</sup>	0.12±0.01 <sup>c</sup>
酯型儿茶素总量	41.12±2.53 <sup>a</sup>	14.02±2.47 <sup>b</sup>	13.72±1.36 <sup>b</sup>	9.02±0.78 <sup>c</sup>
儿茶素组分总量	96.93±3.81 <sup>a</sup>	39.87±6.74 <sup>b</sup>	27.36±2.40 <sup>c</sup>	24.76±2.68 <sup>c</sup>

注:表中同行不同小写字母表示样品间化学成分质量分数差异有统计学意义,  $P<0.05$ 。

各规格CTC红碎茶生化成分含量统计分析如表2。水浸出物、茶多酚、咖啡碱、儿茶素和黄酮等是红碎茶主要的品质成分,大叶种红茶中多种滋味物质如茶黄素、咖啡碱和茶碱的共同作用使茶汤具有醇厚鲜爽的滋味特征<sup>[28,29]</sup>。优质红茶的茶多酚与咖啡碱含量较高,茶多酚、咖啡碱含量与红茶品质具有相关性<sup>[30]</sup>。在不同规格CTC红碎茶样品中,碎茶3号的水浸出物(42.58%)、茶多酚(25.68%)、没食子酸(3.17 mg/g)、

咖啡碱(43.67 mg/g)及鞣花酸(6.07 mg/g)含量最高,显著高于其他规格( $P<0.05$ );碎茶2号的游离氨基酸含量显著高于其他规格( $P<0.05$ )。末茶的水浸出物(38.94%)、游离氨基酸(4.69%)和茶碱(0.32 mg/g)含量最低;碎茶5号的茶多酚(15.45%)、没食子酸(0.45 mg/g)、咖啡碱(13.65 mg/g)和鞣花酸(3.62 mg/g)含量最低。水浸出物和茶碱受茶叶颗粒大小的影响,随碎茶颗粒减小而降低,这与乔小燕

等<sup>[31]</sup>的研究结果具有相似性。此外,较粗颗粒的碎茶3号和碎茶2号中茶多酚、游离氨基酸、没食子酸、咖啡碱、鞣花酸等物质含量均高于颗粒较细的碎茶5号和末茶,这说明较粗颗粒的红碎茶对主要内含成分的保留更有利。

茶黄素影响着红茶滋味的强度和鲜度,也是茶汤色“亮”的主要成分;茶红素对茶汤滋味与汤色浓度起极重要作用;而茶褐素和红茶品质呈负相关,红茶茶褐素过多会导致滋味淡薄,颜色发暗<sup>[32]</sup>。四个规格CTC红碎茶中茶色素含量整体为茶红素>茶褐素>茶黄素,与其他规格相比,碎茶3号茶黄素(1.15%)、茶红素(12.68%)和茶褐素(4.30%)含量最低,末茶茶黄素(1.45%)含量最高,碎茶2号茶红素(18.24%)含量最高,碎茶5号茶褐素(13.8%)含量最高。茶色素的含量会影响茶汤品质,碎茶3号茶汤为橙红,主要原因可能是茶红素、茶黄素和茶褐含量低;碎茶5号茶汤呈红艳稍暗,主要原因可能是茶褐素含量偏高。

黄酮类物质在茶叶中的含量很低,但其与咖啡碱发生协同作用,对茶汤的苦涩味具有重要作用<sup>[33]</sup>。四个规格CTC红碎茶黄酮总量整体为碎茶5号>碎茶3号>碎茶2号>末茶,各组分含量以芦丁、花旗松素和槲皮素为主,其中芦丁是含量较高的化合物。碎茶3号的杨梅素(1.77%)、槲皮素(4.29%)和山奈酚

(0.74%)含量显著高于其他规格( $P<0.05$ );碎茶2号杨梅素(0.43%)、木犀草素(0.32%)和山奈酚(0.26%)含量显著低于其他规格( $P<0.05$ );碎茶5号花旗松素(1.58%)、芦丁(15.93%)和木犀草素(1.21%)含量显著高于其他规格( $P<0.05$ );末茶中花旗松素(0.55%)和黄酮总量(4.39%)显著低于其他茶样( $P<0.05$ )。

儿茶素是茶树次生代谢的重要物质,大量研究表明儿茶素含量与茶叶品质有很大关系<sup>[34,35]</sup>,是决定茶叶色、香、味的重要因素。儿茶素含量较高,且酯型儿茶素与儿茶素总量比值较大的茶树品种更适合制作红碎茶<sup>[36]</sup>。儿茶素类化合物成分主要以非酯型儿茶素(GC、EC、EGC、C等)和酯型儿茶素(EGCG、GCG、ECG、CG等)组成。本实验中儿茶素组分差异较大,非酯型儿茶素总量均高于酯型儿茶素总量,儿茶素组分总量为碎茶3号>碎茶2号>碎茶5号>末茶,含量随茶叶颗粒减小而降低。碎茶3号中GC(22.93%)、EGC(13.60%)、C(7.51%)、EC(11.77%)、EGCG(13.00%)和ECG(26.86%)含量显著高于其他规格( $P<0.05$ ),可见在CTC加工过程中较大颗粒的茶叶发酵更有利于儿茶素类物质的积累。

### 2.3 不同规格CTC红碎茶香气成分分析

表3 不同规格CTC红碎茶香气成分含量(%)

Table 3 Content of aroma components in different specifications of CTC broken black tea

序号	分类	挥发物名称	分子式	保留时间/min	碎茶3号	碎茶2号	碎茶5号	末茶
1		芳樟醇	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	13.54	44.90	37.99	38.02	41.59
2		反式芳樟醇氧化物(吡喃型)	-	13.16	4.32	3.19	2.67	3.31
3		顺式芳樟醇氧化物(吡喃型)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	12.71	1.44	1.06	0.88	1.09
4		三甲基硅醇	C <sub>3</sub> H <sub>10</sub> OSi	1.73	0.22	0.58	1.72	0.29
5		芳樟醇氧化物(反式吡喃型)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	15.56	0.14	0.29	1.59	0.46
6		蘑菇醇	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	10.02	-	0.25	-	0.22
7	醇类	2,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	18.38	0.46	-	-	-
8		香叶基香叶醇	C <sub>20</sub> H <sub>34</sub> O	24.80	-	0.43	-	-
9		2-亚甲基环己烷-1-醇	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	14.79	0.27	-	-	-
10		5-甲基-5-己烯-2-醇	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	6.98	-	0.19	-	-
11		4-辛醇	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	30.98	-	-	0.17	-
12		(2Z,6E)-3,7,11-三甲基十二碳-2,6,10-三烯-1-醇	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	18.47	-	0.12	-	-
13		橙花叔醇	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	14.96	-	-	-	0.10
14		环十五烷基醇	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O	14.96	0.08	-	-	-
15	酯类	水杨酸甲酯	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	16.13	14.13	12.60	13.17	16.03
16		己酸乙酯	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	20.54	1.19	3.41	1.25	1.60
17		2,2,4-三甲基戊二醇异丁酯	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>4</sub>	24.92	-	-	-	1.04
18		异丁酸香叶酯	C <sub>14</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	13.94	-	0.98	-	-

续表 3

序号	分类	挥发物名称	分子式	保留时间 /min	碎茶 3号	碎茶 2号	碎茶 5号	末茶
19		丙酮香叶酯	C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O	22.30	-	-	0.50	0.29
20		邻苯二甲酸二乙酯	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	31.66	-	-	0.27	-
21		(Z)-己酸-3-己烯酯	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	20.45	0.26	-	-	-
22		左旋乙酸冰片酯	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	15.32	-	0.15	-	-
23		甲酸香叶酯	C <sub>11</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	20.34	-	-	0.14	-
24	醛类	反式-2-己烯醛	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	5.74	0.80	2.52	3.09	4.12
25		苯乙醛	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	11.92	0.75	2.06	4.00	1.50
26		正己醛	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	4.15	0.56	1.36	1.34	1.47
27		苯甲醛	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	9.38	0.55	0.80	1.01	0.61
28		2-甲基丁醛	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	2.23	0.62	0.66	1.20	0.39
29		2,4-庚二烯醛	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	11.05	0.93	0.70	0.23	0.85
30		庚醛	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	7.32	0.19	0.75	0.52	0.30
31		1-乙基-1H-吡咯-3-甲醛	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> NO	12.07	1.40	-	-	-
32		异戊醛	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	2.17	0.13	-	-	0.09
33		(Z)-11-十六烯醛	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O	14.96	-	-	0.19	-
34		十二醛二甲缩醛	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	1.83	-	-	-	0.09
35	2-甲基戊醛	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	3.36	0.04	-	-	-	
36	酮类	(EZ)-β-紫罗兰酮	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	22.78	-	1.37	2.00	1.55
37		2,2,6-三甲基环己酮	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	11.54	0.29	0.38	0.36	0.35
38		α-紫罗兰酮	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	21.52	-	-	-	1.18
39		β-紫罗兰酮	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	22.79	0.86	-	-	-
40		植酮	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	29.55	-	-	0.72	-
41		5-甲基-3-己烯-2-酮	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	14.78	-	0.38	-	-
42		(3E,5E)-辛-3,5-二烯-2-酮	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O	12.91	-	-	-	0.25
43		2-庚酮	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	6.99	0.13	-	0.12	-
44		2-烯丙基-2-甲基-1,3-环戊二酮	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	24.76	-	-	-	0.22
45		6-乙基四氢-2H-吡喃-2-酮	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	15.94	0.21	-	-	-
46		假紫罗兰酮	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	24.54	-	0.18	-	-
47	2-萘酮	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	14.69	-	-	0.13	-	
48	烯类	d-柠檬烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	11.37	2.05	2.16	1.14	1.44
49		罗勒烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	11.99	0.93	-	-	-
50		(3E)-3-乙基己-1,3-二烯	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	11.17	0.12	-	-	0.56
51		(+)-α-蒎烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.32	0.67	-	-	-
52		2,4-己二烯	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	5.99	0.19	-	-	0.38
53		(3E)-3,7-二甲基辛-1,3,6-三烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	11.69	0.33	0.07	-	-
54		顺式 3-甲基-2-己烯	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	7.37	-	-	-	0.35
55		β-榄香烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	25.19	-	0.33	-	-
56		(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	14.34	-	0.28	-	-
57		对薄荷-1,3,8-三烯	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	14.09	0.26	-	-	-
58		β-石竹烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	21.33	0.11	-	-	0.10
59		对薄荷-3-烯	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	12.92	-	0.21	-	-
60	3-萹烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	14.35	-	-	-	0.19	

续表 3

序号	分类	挥发物名称	分子式	保留时间 /min	碎茶 3号	碎茶 2号	碎茶 5号	末茶
61		$\beta$ -蒎烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	9.71	-	-	0.16	-
62		(4E)-2-甲基-2,4-己二烯	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub>	6.97	-	-	-	0.15
63		乙酰基环己烯	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O	8.75	-	0.11	-	-
64		四氢二环戊二烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	15.32	-	-	-	0.08
65		2,6-二甲基-2-反式-6-辛二烯	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	10.10	0.08	-	-	-
66		2-甲基-2-十一碳烯	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	20.16	-	0.05	-	-
67		十三烷	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	18.57	-	0.78	-	-
68		十四甲基六硅氧烷	C <sub>14</sub> H <sub>42</sub> O <sub>5</sub> Si <sub>6</sub>	26.22	-	0.60	-	-
69		十六甲基七硅氧烷	C <sub>16</sub> H <sub>48</sub> O <sub>6</sub> Si <sub>7</sub>	24.54	-	-	-	0.54
70		正十七烷	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	26.82	0.07	-	0.34	0.07
71		茶螺烷	C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O	18.98	0.40	-	-	-
72	烷类	2,5,9-三甲基癸烷	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	10.01	0.26	-	-	-
73		2,5-二甲基庚烷	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	10.07	-	-	0.19	-
74		氯代十八烷	C <sub>18</sub> H <sub>37</sub> Cl	28.76	-	-	0.17	-
75		苯基甲烷	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	3.48	0.06	-	0.07	-
76		(1R)-(+)-TRANS 蒎烷	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	15.40	0.13	-	-	-
77		二螺[2.1.2.1]辛烷	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub>	11.69	-	-	0.05	-
78		茶	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	15.77	1.02	0.78	1.06	0.80
79		1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub>	19.86	0.32	-	-	-
80		2-正戊基咪喃	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	10.26	1.70	1.93	1.57	1.28
81		4,5,6-三甲基-2(1H)-嘧啶酮	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> O	18.58	0.57	0.48	1.02	0.35
82		3,4-二甲氧基甲苯	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	16.69	-	0.86	-	-
83		2-乙基咪喃	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	2.55	0.24	0.21	0.15	0.23
84	杂环类	N-乙吡啶	C <sub>6</sub> H <sub>9</sub> N	4.51	0.39	-	-	-
85		间二甲苯	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	6.22	0.10	0.11	-	-
86		1,2,4-三甲基咪唑	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	15.95	-	-	0.19	-
87		4-异丙基甲苯	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	11.25	0.19	-	-	-
88		1,4-二甲苯	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	6.22	-	-	0.12	-
89		4-乙基邻二甲苯	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	11.25	-	0.12	-	-
90		邻-异丙基苯	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	11.25	-	-	0.10	-
91		(4aR,8aR)-2-异亚丙基-4A,8-二甲基-1,2,3,4,4A,5,6,8A-八氢茶	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	23.42	-	0.05	-	-
92	酸类	月桂酸	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	31.97	-	-	0.21	-
93		硬脂酸	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	34.00	-	-	-	0.13
94		甲硫醚	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S	1.63	0.14	0.15	0.67	0.24
95		1-庚炔	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	11.25	-	-	-	0.75
96		(1E)-N-乙基-1-戊炔亚胺	C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> N	15.94	-	0.56	-	-
97	其他	N-乙基亚丁基胺	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> N	15.94	-	-	-	0.36
98		4-辛炔	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	10.73	0.26	-	-	-
99		麦芽糖	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	27.57	-	-	0.09	-
100		甲基巯丙基乙炔	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	2.06	0.04	-	-	-

注:表中“-”表示该成分在相应规格茶样中未检出。

茶叶香气是由多种挥发性成分组成混合物的综合作用结果,各成分的含量、比例对香气的形成起到重要作用<sup>[37]</sup>。四个规格 CTC 红碎茶中共分离鉴定出 100 种香气成分(表 5),包括 14 种醇类(44.11%~51.84%)、9 种酯类(15.31%~18.96%)、12 种醛类(5.99%~11.56%)、12 种酮类(1.48%~3.54%)、19 种烯类(1.30%~4.70%)、11 种烷类(0.60%~1.38%)、14 种杂氧化合物(2.65%~4.55%)、2 种酸类(0.13%~0.21%)、7 种其他化合物(0.44%~1.35%),相对含量较高的物质主要为醇类、酯类和醛类,醇类约占各规格红碎茶香气物质的一半,尤以芳樟醇及其氧化物的相对含量最为丰富,这与杨盛美等<sup>[38]</sup>、张杨波等<sup>[39]</sup>、彭云等<sup>[40]</sup>对红茶挥发性成分的研究结果一致。

四个规格 CTC 红碎茶香气物质种类数量具有差异,其中碎茶 2 号 43 种,碎茶 3 号 50 种,碎茶 5 号 41 种,末茶 43 种,从香气物质种类来说,颗粒最大的碎茶 3 号表现最丰富。Andueza 等<sup>[41]</sup>的研究表明,香气化合物的萃取率与粒径成反比,颗粒的大小对香气化合物的萃取率具有十分重要的影响。本研究虽未发现香气物质与颗粒大小之间的线性规律,但不同规格红碎茶的香气物质种类与含量上存在明显差异。同时,香气物质非常不稳定,易受温度、湿度和光照等多种外部条件的影响。已有研究表明<sup>[7]</sup>,相同温度贮藏条件下,较粗颗粒的红碎茶香气保持度明显优于较细颗粒的红碎茶,这可能是碎茶 3 号香气物质种类多于其他规格的最主要原因。

通过韦恩图的形式,展示四个规格 CTC 红碎茶香气物质之间的关系(图 2a)。碎茶 2 号与碎茶 3 号、碎茶 5 号、末茶共有物质分别为 23 种、23 种、24 种,碎茶 3 号与碎茶 5 号、末茶共有物质分别为 24 种、26 种,碎茶 5 号与末茶共有物质 26 种,所有红碎茶共有物质 21 种,其中含量较高的物质为:具有铃兰、百合和玉兰花香的芳樟醇(37.99%~44.90%)、具有冬青叶香的水杨酸甲酯(12.60%~16.03%)、具有具桉叶油素、樟脑等弱木香型香气的反式芳樟醇氧化物(呋喃型)(2.67%~4.32%)、具有绿叶清香和水果香气的反式-2-己烯醛(0.80%~4.12%)、具有浓郁的玉簪花香气的苯乙醛(0.75%~4.00%)、具有嫩青刀豆荚香气及未成熟水果香气的己酸己酯(1.19%~3.41%)、具有新鲜橙子香气的 *d*-柠檬烯(1.14%~2.16%)和具有椰子、杏仁味或桃花香的 2-正戊基呋喃(1.28%~1.93%)等,这些共有的主体香气物质决定四个规格 CTC 红碎茶主要香型为甜香、花香带青气。

各规格 CTC 红碎茶各自具有不同的挥发性香气成分。碎茶 2 号具有 18 种特有物质,其中异丁酸香叶

酯(0.98%)呈淡玫瑰香和杏子甜香,(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯(0.28%)具有花香,假紫罗兰酮(0.18%)具有类似紫罗兰花香;碎茶 3 号具有 20 种特有物质,其中阈值为 34  $\mu\text{g/L}$ <sup>[42]</sup>具有花香并伴有橙花油气息的罗勒烯(0.93%)、具有紫罗兰香味且阈值极低(0.2  $\mu\text{g/L}$ <sup>[43]</sup>)的  $\beta$ -紫罗兰酮(0.86%)含量较高;碎茶 5 号具有 15 种特有物质,其中植酮(0.72%)、邻苯二甲酸二乙酯(0.27%)、具有月桂油香味的月桂酸(0.21%)、1,2,4-三甲基哌嗪(0.19%)含量较高;末茶具有 14 种特有物质,其中具有紫罗兰花香气且阈值极低(0.4  $\mu\text{g/L}$ <sup>[44]</sup>)的  $\alpha$ -紫罗兰酮(1.18%)、2,2,4-三甲基戊二醇异丁酯(1.04%)、1-庚炔(0.75%)、十六甲基七硅氧烷(0.54%)含量较高。从特有香气物质可以看出,尽管四个规格 CTC 红碎茶特有香气物质显现的香气可能存在相同点,但数量差异较大。

对 4 个规格 CTC 红碎茶中所有香气成分进行聚类分析(图 2b)。第一分支为碎茶 2 号和末茶,碎茶 5 号形成与第一分支距离较近的第二分支,距离最远的第三分支为碎茶 3 号;聚类结果说明碎茶 2 号与末茶在香气组成与含量上最为相似,碎茶 5 号与第一分支也有相似性,碎茶 3 号最为特殊;这一结果与感官审评中香气的评语结果具有相似性,在评语上碎茶 3 号与其他三个规格最大的区别是没有“青气”。结合表 5,碎茶 3 号中具花果香、甜香的芳樟醇及其氧化物含量最高,而具有冬青叶香的水杨酸甲酯、青草气息的反式-2-己烯醛、具有嫩青刀豆荚香气及未成熟水果香气的己酸己酯在碎茶 2 号、5 号和末茶中含量均较高。

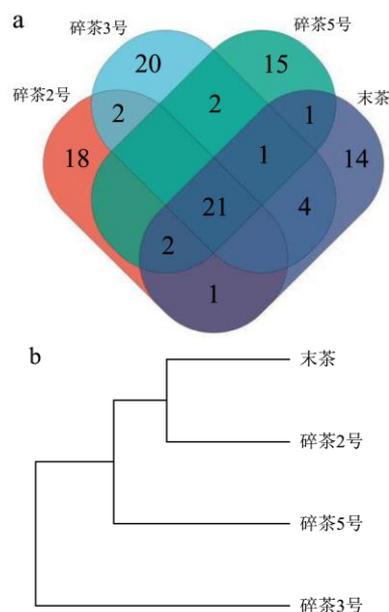


图 2 香气成分分析图

Fig.2 Analysis chart of aroma components

注: 图中 a 为韦恩图, b 为聚类树形图。

### 3 结论

茶叶感官审评、化学成分检测和 GC-MS 香气检测结果联合分析可得:不同规格红碎茶在感官品质、内含成分和挥发性香气成分均存在差异,红碎茶的颗粒大小对茶叶品质、生化成分和香气物质积累具有重要影响。颗粒较大的碎茶 3 号、碎茶 2 号主要生化成分和香气种类都高于较细颗粒的碎茶 5 号和末茶,其中水浸出物、茶碱和儿茶素总量随颗粒减小而降低。四个规格 CTC 红碎茶共鉴定出 100 种香气物质包括醇类、酯类、醛类、酮类等共 9 大类,各规格香气物质在组成与相对含量上存在差异。决定四个规格 CTC 红碎茶香型的 21 种主体香气物质多具有甜香、花香,芳樟醇及其氧化物的相对含量最为丰富,约占所有香气化合物含量的一半。从香气成分聚类分析上看,碎茶 3 号与其他规格差异最大。综上,从感官品质、化学成分和香气成分上,较粗颗粒的 CTC 红碎茶更具有优势,特别在具有众多保健功效的化学成分上表现突出。研究结果一方面丰富了云南 CTC 红碎茶品质体系数据库,对 CTC 红碎茶生产工艺优化提供理论依据;另一方面为其他地区不同规格红碎茶的品质评价提供参考;同时也为消费者在红碎茶规格选择、冲泡品饮和储存等方面提供理论指导。

### 参考文献

- [1] Engelhardt U H. Tea chemistry-What do and what don't we know? -A micro review [J]. *Food Research International*, 2020, 132: 109120.
- [2] Kumazawa K, Wada Y, Masuda H. Characterization of epoxydecenal isomers as potent odorants in black tea (*dimbula*) infusion [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2006, 54(13): 4795-4801.
- [3] GB/T 13738.1-2017, 红茶 第一部分:红碎茶[S].
- [4] 潘彬.世界主要产茶国红碎茶感官审评异同点比较[J].*中国茶叶*,2019,41(2):38-42.
- [5] 李金龙,杨盛美,李友勇,等.斯里兰卡红碎茶与滇红碎茶主要香气成分比较分析[J].*食品安全质量检测学报*,2021,12(21):7.
- [6] 王伟伟,江和源,江用文,等.不同萎凋时间对 CTC 红碎茶品质的影响[J].*中国农学通报*,2016,32(4):129-135.
- [7] 谢清怡.红碎茶贮藏过程中挥发性物质变化规律研究[D].杭州:浙江大学,2020.
- [8] Langat C K, Mayaka A N, Ondieki C. Impact of high pressure rotorvane on CTC black tea quality [J]. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 2019, 6(9).
- [9] Pou K, Tripathy P P. Process Optimization of vacuum-assisted solar drying of crush, tear and curl (CTC) black tea [J]. *Journal of Biosystems Engineering*, 2020, 45(1): 24-32.
- [10] Das S, Samanta T, Datta A K. Analysis and modeling of major polyphenols during oxidation in production of black tea [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2019, 43(12): e14283.
- [11] Kalidass S, Vijaya K U, Kumar R R. Biochemical changes during withering process of CTC black tea manufacture [J]. *Oriental Journal of Chemistry*, 2019, 35(4): 1313-1319.
- [12] Li T, Xu S, Wang Y, et al. Quality chemical analysis of crush-tear-curl (CTC) black tea from different geographical regions based on UHPLC-Orbitrap-MS [J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(9): 3909-3925.
- [13] Kumar R, Muraleedharan N N, Murugesan S, et al. Biochemical quality characteristics of CTC black teas of south India and their relation to organoleptic evaluation [J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(1): 117-124.
- [14] Bhuyan L P, Hussain A, Tamuly P, et al. Chemical characterisation of CTC black tea of northeast India: correlation of quality parameters with tea tasters' evaluation [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2010, 89(9): 1498-1507.
- [15] Deka H, Sarmah P P, Devi A, et al. Changes in major catechins, caffeine, and antioxidant activity during CTC processing of black tea from North East India [J]. *RSC Advances*, 2021, 11(19): 11457-11467.
- [16] 杨盛美,唐一春,孙雪梅,等.云抗 10 号与肯尼亚 6/8 的红碎茶香气成分比较研究[J].*西南农业学报*,2013,26(6):2276-2280.
- [17] GB/T 23776-2018,茶叶感官审评方法[S].
- [18] GB/T 14487-2017,茶叶感官审评术语[S].
- [19] GB 5009.3-2016,食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- [20] GB/T 8313-2002,茶 茶多酚测定[S].
- [21] GB/T 8314-2013,茶 游离氨基酸总量的测定[S].
- [22] GB/T 8305-2013,茶 水浸出物测定[S].
- [23] 安江珊,石兴云,施扬,等.红紫色茶树新梢芽和不同叶的化学成分测定比较[J/OL].*分子植物育种*: 1-19[2022-03-23].  
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210721.1628.013.html>.
- [24] 张正竹.茶叶生物化学实验教程[M].北京:中国农业出版社,2009:52-54.

- [25] 王智慧.云南大叶种茶树种质资源与红碎茶品质关系研究[D].云南农业大学,2017.
- [26] 杨习文.粉体特征对咖啡液萃取过程及风味的影响规律研究[D].无锡:江南大学,2021.
- [27] 韩海华,梁名志,夏丽飞,等.云南红碎茶品质特点的比较分析[J].湖南农业科学,2013,9:28-30.
- [28] 宋楚君,范方媛,龚淑英,等.不同产地红茶的滋味特征及主要贡献物质[J].中国农业科学,2020,53(2):383-394.
- [29] 邓少春,梁名志,田易萍,等.三个茶树新品种加工手工滇红碎茶品质对比研究[J].中国农学通报,2016,32(1):125-129.
- [30] 尚卫琼,陈春林,孙承冕,等.云南大叶种茶多酚和咖啡碱对红茶品质的影响[J].江苏农业科学,2021,49(1):155-159.
- [31] 乔小燕,李崇兴,姜晓辉,等.不同等级 CTC 红碎茶生化成分分析[J].食品工业科技,2018,39(10):83-89.
- [32] 王领昌.影响红茶茶红素含量的因素及其成因研究[D].长沙:湖南农业大学,2017.
- [33] 郭小媛.茶叶黄酮醇苷类物质的酶促反应机制及应用研究[D].杭州:浙江大学,2020.
- [34] 陈志达,周辉,陈兴华,等.福鼎白茶滋味品质的量化评价[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2020,46(3):334-343.
- [35] 王若娴,黄翔翔,李勤,等.不同类型白茶儿茶素、香气成分与感官品质比较[J].食品工业科技,2022,43(5):315-321.
- [36] 邓少春,陈林波,陈春林,等.茶树杂交 F<sub>1</sub> 儿茶素组分含量与红碎茶品质的关系[J].山西农业科学,2019,47(10):1746-1750.
- [37] Mqwa B, Wjma B, Jiang S A, et al. Characterization of the key aroma compounds in Longjing tea using stir bar sorptive extraction (SBSE) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), gas chromatography-olfactometry (GC-O), odor activity value (OAV), and aroma recombination [J]. Food Research International, 2020, 130: 108908.
- [38] 杨盛美,许玫,唐一春,等.云南不同茶区茶树种质资源的红碎茶香气成分研究[J].中国农学通报,2015,31(11):6.
- [39] 张杨波,刘仲华,饶甜甜,等.云南红碎茶色、香、味品质特征分析[J].食品与机械,2019,35(8):37-43.
- [40] 彭云,李果,刘学艳,等.不同产地红茶香气品质的 SPME/GC-MS 分析[J].食品工业科技,2021,42(9):8.
- [41] Andueza S, de Peña M. P, Cid C. Chemical and sensorial characteristics of espresso coffee as affected by grinding and torrefacto roast [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(24): 7034-7039.
- [42] Pino, Jorge, Antonio, et al. Study of the volatile compounds from plum (*Prunus domestica* L. cv. Horvin) and estimation of their contribution to the fruit aroma [J]. Ciência E Tecnologia De Alimentos, 2012, 32(1): 76-83.
- [43] Qin L, Yi A, Yu L E, et al. Characterization of the key aroma compounds and microorganisms during the manufacturing process of Fu brick tea [J]. LWT, 2020, 127: 109355.
- [44] Kang S, Yan H, Zhu Y, et al. Identification and quantification of key odorants in the world's four most famous black teas [J]. Food Research International, 2019, 121(JUL.): 73-83.